

Энергосберегающие, базовые, специальные и промышленные электроразрядные, радиационные и плазменно–пучковые технологии

Руководители направления:
В.В. Лопатин, профессор, д.ф.-м.н.



Участниками разработки и реализации направления являются три кафедры ТПУ: кафедра техники и электрофизики высоких напряжений (ТЭВН), кафедра сильноточной электроники (СЭ), кафедра водородной энергетики и плазменных технологий (ВЭПТ), НИИ высоких напряжений (НИИ ВН) и Институт сильноточной электроники СО РАН (ИСЭ СО РАН).

НИИ высоких напряжений создан в 1968 году на базе научной школы высоковольтников, основанной профессором Воробьевым А.А., известной открытием закономерности пробоя твёрдого диэлектрика на границе раздела с жидким диэлектриком при действии импульса напряжения.

В активе учёных Института сильноточной электроники – научные открытия взрывной эмиссии электронов, объёмного газового разряда с многоэлектронным иницированием. В ИСЭ работают всемирно известные научные школы академика Б.М. Ковальчука по импульсной технике, академика С. Д. Коровина по сильноточной релятивистской СВЧ-электронике, академика С.П. Бугаева по плазменным методам модификации поверхности. Основателем и первым директором ИСЭ был вице-президент РАН Г. А. Месяц.

Партнёрами являются Российский Федеральный ядерный центр ВНИИ технической физики (г. Снежинск), РФЯЦ ВНИИ экспериментальной физики (г. Саров); академические Институт общей физики и Физический институт (г. Москва), Институт электрофизики (г. Екатеринбург), институты Сибирского отделения РАН (г. Новосибирск, г. Томск); ООО "Российские железные дороги", предприятия Транснефть, Трансгаз, Востокгазпром, Сибирский химический комбинат, НПО прикладной механики, предприятия РАО "Единая энергетическая система", резиденты Томской особой экономической зоны технико-внедренческого типа.

Международными партнёрами являются: Университет штата Нью-Мексико (США), Ульсанский университет (Южная Корея), Технологические университеты Даляня и Шеньяна (Китай), Норвежский университет науки и технологий (Тронхейм, Норвегия), компании Schlumberger, Schneider Electric, ITHPP и исследовательский центр Gramat (Франция), Национальные лаборатории Sandia (США), компания ITAC Ltd. (Япония).

Целью реализации направления Инновационной образовательной программы (ИОП) является опережающая подготовка элитных специалистов и команд профессионалов мирового уровня и развитие научных исследований в сфере энергосбережения, базовых, специальных и промышленных электроразрядных, радиационных, пучково–плазменных технологий и сильноточной электроники.

Одной из основных задач является создание научно-образовательных центров в НИИ ВН и ИСЭ СО РАН. Основой центров послужат семь учебно-исследовательских комплексов (УИК), предназначенных для проведения учебно-исследовательских и технологических работ. На базе комплексов будет осуществляться подготовка кадров, научные исследования и научно-производственная деятельность по приоритетным направлениям развития науки и техники и критическим технологиям России: высокопроизводительные ресурсосберегающие технологии и высоковольтная импульсная техника.

Подготовка кадров осуществляется по сквозной системе обучения: бакалавр–магистрант–аспирант–докторант. Начиная с 3 курса, студенты факультетов ТПУ, обучающиеся по программе элитного образования и по стандартным образовательным программам, привлекаются к учебно-исследовательской работе в лабораториях и отделах НИИ ВН и ИСЭ СО РАН. Студенты участвуют в разработке новых технологий, а также проектировании, изготовлении, испы-

тании технологических и исследовательских установок, проходят ознакомительные, технологические, научно-исследовательские и производственные практики на предприятиях-партнёрах. Завершаться обучение будет двухлетней магистратурой, в течение которой студенты не только углубленно изучают спецкурсы, но большую часть времени разрабатывают реальные научно-исследовательские или технологические проекты, являющиеся основой для магистерских диссертаций. Выполняя реальные проекты, заканчивающиеся разработкой и поставкой заказчику оборудования и технологий, студенты приобретают опыт самостоятельной работы и готовы к решению научно-исследовательских и инженерных задач от идеи до её воплощения и вывода продукции на рынок.

Заказчиками оборудования и технологий и потребителями выпускников являются институты, КБ и внедренческие компании РАН, научно-технические предприятия Росатома, Минобороны, РАО ЕЭС, ООО РЖД. Поскольку значительная доля оборудования и технологий разрабатывается по контрактам с зарубежными компаниями и организациями, сотрудники с привлечением магистрантов обеспечивают их сопровождение за рубежом. Поэтому знание английского или другого иностранного языка является необходимым условием их профессиональной подготовки.

Для подготовки будут созданы и реализованы инновационные модульные магистерские программы опережающей подготовки на основе планирования компетенций специалистов с приобретением практического опыта в условиях создания реальных технологий и оборудования:

- техника и физика высоких напряжений;
- электроразрядные и пучково-плазменные технологии;
- физическая электроника;
- микроволновая электроника.

Для обеспечения обучения новейшим технологиям уже сейчас разрабатываются и будут подготовлены новые учебные дисциплины: импульсная энергетика и электроника, эмиссионная электроника, радиационные эффекты в твёрдых телах, физика пучков заряженных частиц, электродинамика сплошных сред, физические основы радиационных и плазменных технологий, электроразрядные технологии обработки и разрушения материалов, плазмохимия и плазменные технологии, физика и техника генерирования высоковольтных и сильноточных импульсов, оборудование для радиационных и плазменных технологий.

После окончания обучения магистры смогут продолжать работу в институтах или организациях-партнёрах, повышая свою квалификацию в аспирантуре и докторантуре по специальностям 05.14.12 "Техника высоких напряжений", 01.04.07 "Физика конденсированного состояния", 01.04.08 "Физика плазмы", 01.04.04 "Физическая электроника", 01.04.13 "Электрофизика, электрофизические установки", 05.27.02 "Вакуумная и плазменная электроника".

Планируется оснастить кафедры новыми учебно-исследовательскими стендами, которые можно будет использовать и для научных исследований. Каждая учебная работа на стендах стро-

**ENERGY-SAVING, BASIC, SPECIAL
AND INDUSTRIAL ELECTRODISCHARGE,
RADIATION, PLASMA-BEAM TECHNOLOGIES
AND HIGH-CURRENT ELECTRONICS**

V.V. Lopatin

Doctor of Physics and Mathematics

The major objective of the implementation of the innovative educational programme is advanced training of elite specialists and professional teams able to meet the world standards, as well as development of research in the field of energy-saving, basic, special and industrial electrodischarge, radiation, plasma-beam technologies and high-current electronics.

Training will be carried out in research and educational centres on the basis of the Research Institute of High Voltages and the Institute of High-Current Electronics, SB RAS. Seven educational and research complexes designed to hold educational, research and technological activities will form the basis of the centres. Educational and research laboratory works, research studies and research and production activities on priority issues of engineering and science development as well as critical technologies of Russia will be held: efficient resource-saving technologies and high-voltage pulse engineering.

Innovative module master's programmes will be created to provide training for professional elite:

- high-voltage engineering and physics;
- electrodischarge and plasma-beam technologies;
- physical electronics;
- microwave electronics.

The laboratories will be equipped with modern educational and research facilities to be used in both education and research. Such facilities will be created on the basis of the achievements of scientific schools recognised in Russia and in the world and which have advanced and unique research and technological developments.

Specialists' training will be carried out according to the so-called cross-cutting system of education: bachelor – master – post-graduate – doctoral student. The selection of candidates from TPU and other universities of Tomsk starts from the 3rd year of studies, students are engaged into educational and research activities in laboratories of the Research Institute of High Voltages and the Institute of High-Current Electronics. During their master's training students do not only study special courses but also carry out real research or technological projects being the basis of master's dissertations. Being involved in the projects concerned with development and supply of equipment and facilities to the customer graduates acquire the necessary experience of independent work and are ready to solve the most demanding tasks of research and engineering starting from the idea to its implementation and marketing of the production. Having completed their education masters of sciences may continue to work in institutions or partner organisation improving their qualification in post-graduate or doctoral studies.

RAS Institutes, Construction Departments and Innovation and Research Companies, as well as research and technical enterprises of Rosatom, the Ministry of Defense, RAO UES and some private companies are major customers of equipment and facilities and graduates consumers. Many equipment and technologies are developed in compliance with

ится таким образом, что задача формулируется как проведение научного исследования. Она включает предварительное прогнозирование результатов, получение экспериментальных данных, последующее оформление результатов и их обсуждение. Такой подход показал свою эффективность при развитии у студентов навыков самостоятельной научной работы. Стенды будут создаваться в рамках УИКов, на базе научных школ, признанных в России и мире, имеющих передовые и уникальные научные и технологические разработки в соответствующей сфере деятельности.

Электроразрядные технологии основаны на трансформации энергии низкотемпературной и неравновесной плазмы, генерируемой в газообразных, жидких и твёрдых диэлектриках, в энергию фазовых переходов, химических реакций или механическую работу в материалах. Основная особенность такого воздействия – возможность ввести высокую плотность мощности в обрабатываемые материалы в импульсном режиме. Благодаря кратковременности воздействия, неравновесная плазма обладает синергетическим воздействием.

В электроразрядных технологиях используются искровой и квазиобъёмный разряды. Последний горит только в газах и газо-жидкостных смесях. Чтобы избежать контракции тока и сохранить достаточный объём, длительность разряда уменьшается до 10^{-7} с, повышается скорость изменения поля до 10^{11} В/мкс и ограничивается плотность тока, например, с помощью диэлектрического покрытия электродов или применения барьера в промежутке.

Исследования в области физики газового разряда и физики интенсивных пучков заряженных частиц, поиск новых областей практических применений полученных знаний интенсивно ведутся в ТПУ, НИИ ВН и ИСЭ СО РАН, на базе которого создана кафедра сильноточной электроники ТПУ.

Характерно, что в решениях практически всех крупных международных конференций, посвященных газовому разряду и технологическими применениями низкотемпературной плазмы, отмечается необходимость более интенсивной подготовки специалистов в этих областях. Особо следует подчеркнуть, что задачи создания уникальной аппаратуры и использования её в экспериментах вытекают непосредственно из научных исследований сотрудников, результаты которых получают высокое признание, как среди учёных, так и среди промышленных партнёров.

Технологии применения искрового разряда развиваются в НИИ ВН на протяжении 40 лет. Рабочим инструментом, разрушающим или обрабатывающим твёрдые материалы, является канал высоковольтного импульсного разряда, который формируется в твёрдом теле под слоем жидкости, например, воды, за время менее 10^{-6} с. Искровые импульсные разряды используются как рабочие инструменты для:

- бурения, резания и обработки твёрдых материалов (горные породы, бетон);
- очистки внутренних поверхностей труб и теплообменников от минеральных отложений;
- дробления твёрдых непроводящих материалов и изделий (горных пород, бетонных плит и железобетонных шпал, твёрдых отходов, размола кристаллического кварца для производства сверхчистого кремния и др.);
- дробления и активации растительного сырья для увеличения экстракции.

Для работ в области изучения и технологического применения квазиобъёмного и искрового разряда будут созданы:

УИК для развития энергосберегающих технологий, основанных на активации физико-химических реакций для электроразрядной очистки воды и стоков, обогащения и извлечения урана;

УИК для исследования низкотемпературной плазмы газовых разрядов и их технологических применений в электроразрядной сушке древесины, радиационном осушении и конверсии природного газа;

УИК для развития энергосберегающих технологий электроразрядного бурения скважин, снятия и разрушения поверхностного слоя бетона, дробления материалов.

Интенсивно развивающиеся в последние годы нанотехнологии используют возможности электронных пучков, как источников концентрированных потоков энергии, для создания нанопорошков, наноструктурированных слоёв и покрытий, обладающих уникальными физическими, химическими и эксплуатационными свойствами. В основу комплексов положены наработки ИСЭ СО РАН и НИИ ВН.

Для воздействия на поверхность материала планируется использовать самое современное оборудование в этой области – лазеры и ускорители электронов и ионов.

УИК для поверхностной модификации и нанесения нанокompозитных износостойких покрытий импульсными пучками ионов;



Представители компании Statoil ASA (Норвегия) на испытаниях установки для электроразрядного бурения

УИК для исследования физических основ технологий обработки поверхности материалов сильноточными электронными и мощными лазерными импульсами.

В последние годы плазменные технологии нашли широкое применение во всех индустриально развитых странах. Ввиду уникальности возможностей им нет альтернативы в промышленности в качестве средства для модифицирования физических свойств материалов и изделий, создания материалов, обладающих новыми свойствами.

Очевидно, что назрела необходимость в целенаправленной подготовке молодых учёных и специалистов, способных разрабатывать фундаментальные и прикладные аспекты этой проблемы, а также внедрять достижения исследователей в промышленность для повышения конкурентоспособности нашей страны на рынках наукоемких технологий.



Установка для нанесения покрытий потоками газоразрядной плазмы

agreements and contracts with foreign companies and organisations.

Innovative character of educational and research-production activities is the main advantage of the Centres. Established educational and research complexes will be used not only for educational and research purposes of masters, post-graduates and doctoral students, creation and development of technologies but also for the achievement of the limited production of the equipment.

It is noteworthy that during many years TPU, the Research Institute of High Voltages and the Institute of High-Current Electronics, SB RAS have been the organisers of great scientific forums in Tomsk, including regular conferences on low-temperature plasma, radiation physics, high-current electronics and modification of materials with particles and plasma flow beams. In 2000 and 2006 1st and 2nd International Congresses were held in Tomsk discussing the above mentioned topics. That is why Tomsk can be considered the "centre of crystallisation" of these research fields, and this fact serves another advantage to the implementation of a new innovative educational programme.

УИК для исследования энергосберегающих, защитных, многослойных наноразмерных покрытий и создания технологий нанесения покрытий потоками газоразрядной плазмы;

УИК для исследования физических основ создания и технологического применения компактных генераторов мощных импульсов СВЧ, оптического и рентгеновского излучений состоит из нескольких стендов.

Стенд для исследования транспортировки электронного пучка и генерации микроволнового излучения построен на базе электронного ускорителя "СИНУС-160", представителя "малого" класса данного семейства. Имеется более чем десятилетний успешный опыт использования таких малогабаритных ускорителей в совокупности с микроволновыми генераторами типа релятивистской лампы обратной волны для получения наносекундных СВЧ-импульсов с мощностью порядка 10^8 Вт.

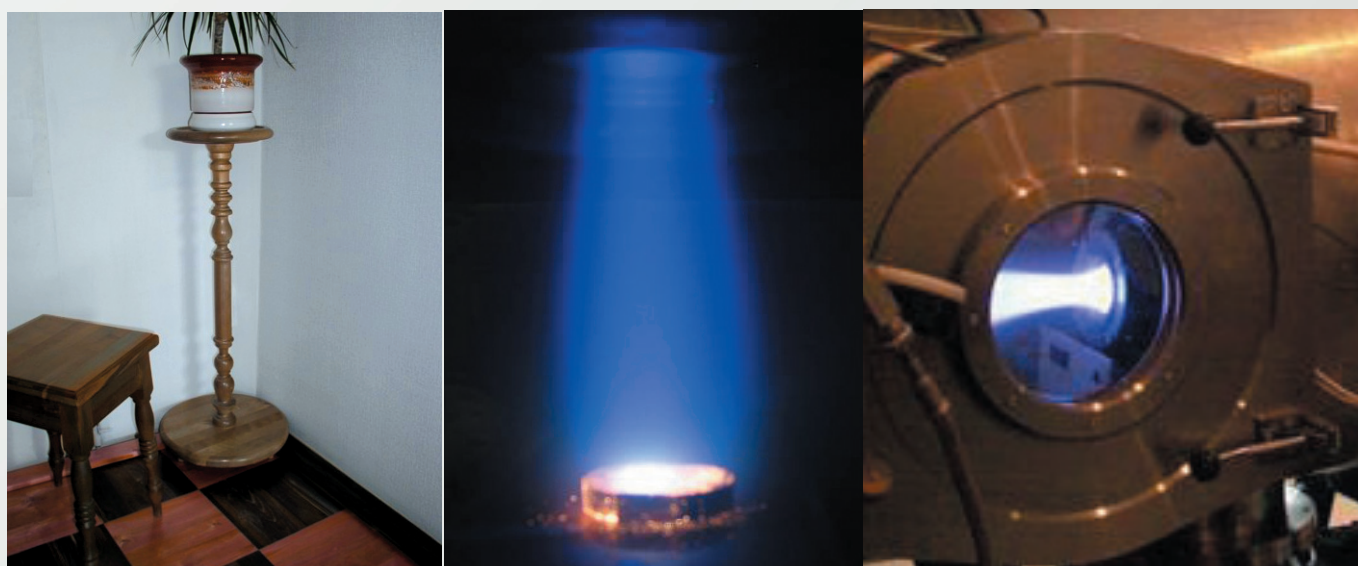
Институту сильноточной электроники СО РАН принадлежат приоритетные научные результаты, касающиеся формирования наносекундных высоковольтных импульсов в системах на основе коаксиальных формирующих линий, получения трубчатых сильноточных электронных пучков в коаксиальных вакуумных диодах с магнитной изоляцией и их транспортировки, генерации с помощью таких пучков мощных импульсов СВЧ-излучения в черенковских релятивистских лампах обратной волны. Разрабатываемый стенд обеспечивает возможность демонстрации и подробного экспериментального исследования основных закономерностей перечисленных физических процессов.

Стенд для генерации мягкого рентгеновского излучения на основе компактного сильноточного генератора будет обеспечивать формирование плотной высокотемпературной плазмы для генерации мягкого рентгеновского излучения – так называемого "излучения Х-пинча". Это излучение используется для рентгенографии короткоживущих объектов, которая является новым перспективным направлением в диагностике. Высокие пространственные (десятые доли микрона) и временные разрешения (десятые доли наносекунд) и сравнительно мягкий диапазон спектра (1–10 кэВ), достижимые при использовании Х-пинча, являются чрезвычайно интересными для исследований быстропротекающих процессов в веществе при экстремальных состояниях, для изучения структуры живых биологических и других объектов.

Стенд для изучения источников лазерного и спонтанного излучения ультрафиолетового диапазона для исследований временных, спектральных, пространственных и энергетических характеристик излучения газового лазера в зависимости от начальных параметров. Стенд обеспечит возможность проработки технологических вопросов применения ультрафиолетового излучения для стерилизации помещений, медицинских инструментов, а также в плазмохимических процессах.

Достоинством Центров является инновационный характер образовательной и научно-производственной деятельности, направленный на:

- развитие энергосберегающих технологий и создание опытного оборудования для электроразрядного бурения скважин, снятия поверхностного слоя бетона, дробления материалов;



Изделия из модифицированной древесины, обработка детали электронным пучком



Установка для электроразрядного разрушения железобетона (Япония)

- развитие энергосберегающих технологий, основанных на активации физико-химических реакций, создание опытного и серийного оборудования для электроразрядной очистки воды и стоков, электроразрядной сушки древесины и радиационного осушения природного газа, обогащения и извлечения урана;
- разработку, мелкосерийное производство и внедрение генераторов высоковольтных и сильноточных электрических импульсов нано- и микросекундной длительности с частотой следования до $5 \cdot 10^3$ имп/с для генерации рентгеновского и СВЧ-излучения, технологических и специальных применений;
- развитие технологий, создание и внедрение опытного и промышленного оборудования для поверхностной модификации и нанесения нанокompозитных и энергосберегающих, защитных, многослойных наноразмерных покрытий импульсными пучками электронов, ионов и потоками газоразрядной плазмы.

Таким образом, созданные в Центрах учебно-исследовательские комплексы будут использоваться для:

- выполнения исследовательских лабораторных работ по магистерским дисциплинам, проведения научных исследований при подготовке магистерских диссертаций;
- научных исследований аспирантов и докторантов;
- создания и развития технологий;
- доведения оборудования до мелкосерийного производства.

В заключение отметим, что ТПУ, НИИ ВН, ИСЭ СО РАН в течение ряда лет выступают организаторами проведения в Томске крупных научных форумов – это регулярные конференции по радиационной физике, сильноточной электронике и модификации материалов пучками частиц и потоками плазмы. А в 2000 и 2006 годах в Томске были проведены I и II Международные конгрессы, объединившие все эти тематики. Так что Томск вполне можно считать "центром кристаллизации" этих научных отраслей – и это ещё один несомненный плюс к возможностям новой Инновационной образовательной программы.